

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra aplikované mechaniky

**Pevnostní výpočet rámu sklápěcího návěsu  
NS136**

**Strength Calculation of Tipper Semi Trailer  
Frame NS136**

Student:

Tomáš Černík

Osobní číslo:

CER0403

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Kořínek

Ostrava 2020

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Černík**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 3901R003 Aplikovaná mechanika  
Téma: **Pevnostní výpočet rámu sklápěcího návěsu NS136**  
**Strength Calculation of Tipper Semi Trailer Frame NS136**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Rešerše používaných sklápěcích vozidel. Popis systému sklápění, základní návrh hydraulického válce
2. Proved'te pevnostní kontrolu konstrukce rámu sklápěcího návěsu společnosti PANA V a.s.
3. Optimalizujte rám vozu s ohledem na hmotnost dle legislativy pro nákladní dopravu.
4. Vyhodnocení a závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

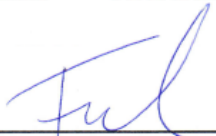
- [1] KOLÁŘ, Vladimír, Viktor KANICKÝ a Ivan NĚMEC. *FEM Principy a praxe metody konečných prvků*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 1997, 401 s. ISBN 80-722-6021-9
- [2] HOSCHL, Cyril. *Pružnost a pevnost ve strojírenství*. SNTL Praha 1971
- [3] LENERT, Jiří. *Pružnost a pevnost II*. Ostrava 1988. ISBN 80-7078-572-2
- [4] DEJL, Zdeněk. *Konstrukce strojů a zařízení I: Spojovací části strojů. Návrh, výpočet, konstrukce*. Vyd. 1. Ostrava: Montanex a.s., 2000. 225 s. ISBN 800-7225-018-3.
- [5] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. Brno: VLK 2006. ISBN 80-239-6464-X
- [6] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. Brno: VLK 2000. ISBN 80-238-5273-6

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Kořínek**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020

  
doc. Ing. Martin Fusek, Ph.D.  
vedoucí katedry

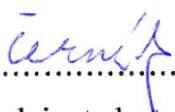


  
prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

**Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

  
.....  
podpis studenta

## Prohlášení spolupracující osoby

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských studijních programech VŠB-TU Ostrava.


Spolupracující firma:  
(název a sídlo, případně IČO)

PANAV a.s. Nádražní 212 - Senice na Hané

Jméno a příjmení oprávněné osoby:

Ing. Jiří Huf

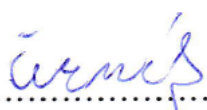
V Senici na Hané dne 15. května 2020.

  
.....  
**PANAV a.s.**  
Podpis oprávněné osoby  
Nádražní 212  
(případně razítko)  
SENICE NA HANÉ  
konstrukční rozvoj 7

**Prohlašuji, že:**

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská — Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі́, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

  
.....  
podpis studenta

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ČERNÍK, T. *Pevnostní výpočet rámu sklápěcího návěsu NS136*. Ostrava, 2020. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra aplikované mechaniky. Vedoucí práce: Michal Kořínek.

Tato bakalářská práce se zabývá pevnostní kontrolou a také následnou optimalizací rámu sklápěcího návěsu NS136. Teoretická část uvádí popis a přehled používaných sklápěcích vozidel, jejich výhody a nevýhody. Cílem praktické části práce je ověřit s pomocí metody konečných prvků, že pevnost rámu je vyhovující. Následně je také snížena hmotnost rámu, aby tak došlo k zefektivnění přepravy nákladu pomocí tohoto návěsu.

**Klíčová slova:** sklápěcí návěs, systém sklápění, pevnostní kontrola, MKP analýza, optimalizace

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ČERNÍK, T. *Strength Calculation of Tipper Semi Trailer Frame NS136*. Ostrava, 2020. Bachelor Thesis. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Applied Mechanics. Thesis head: Michal Kořínek.

This Bachelor thesis deals with strength calculation and consequent optimization of a tipper semi-trailer frame NS136. Theoretical part presents an overview of the used tipping vehicles, their advantages and disadvantages. The goal of the practical part is to ensure, with the help of the finite element method, that the frame has adequate strength. After that is the weight of the frame reduced, to make cargo transportation with this tipper semi-trailer more effective.

**Key words:** tipping semi-trailer, principle of tipping, strength calculation, FEM analysis, optimization

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Sklápěcí vozidla .....</b>	<b>9</b>
2.1	Základní charakteristika .....	9
2.2	Používaná sklápěcí vozidla .....	9
2.2.1	Návěsy, přívěsy a automobilové nástavby .....	9
2.2.2	Vozidla s jednostranným a třístranným sklápěním .....	10
2.2.3	Typy sklápěcích vozidel.....	11
2.3	Popis systému sklápění .....	14
2.3.1	Používané sklápěcí systémy .....	14
2.4	Pohon sklápěcích systémů .....	15
<b>3</b>	<b>Sklápěcí návěs NS136.....</b>	<b>16</b>
3.1	Základní popis návěsu.....	16
<b>4</b>	<b>Analytický výpočet.....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Pevnostní kontrola pomocí MKP.....</b>	<b>25</b>
5.1	Úvod do metody konečných prvků .....	25
<b>6</b>	<b>Vyhodnocení pevnostní kontroly stávajícího rámu.....</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>Optimalizace rámu návěsu .....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>Vyhodnocení pevnostní kontroly optimalizovaného rámu.....</b>	<b>60</b>
<b>9</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>76</b>
<b>10</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>79</b>
<b>11</b>	<b>Seznam použitých zdrojů a literatury .....</b>	<b>81</b>

# 1 Úvod

Sklápěcí vozidla jsou velmi rozšířeným a mnohdy nenahraditelným typem dopravního prostředku především ve stavebnictví, těžebním průmyslu nebo zemědělství. Existují v mnoha variantách, pro příklad lze jmenovat sklápěcí návěsy, sklápěcí tandemové přívěsy nebo vozidla se sklápěcími nástavbami. Tyto dopravní prostředky dokáží efektivně přepravovat sypké materiály, a pokud je to nutné, jsou v některých případech schopny zastoupit i funkci valníkůvých vozidel a přepravit kusový materiál. Hlavním požadavkem zákazníků při nákupu těchto dopravních prostředků je většinou co největší efektivita přepravy. Jedná se tedy o vysokou přepravní kapacitu a nosnost, naopak je důležitá co nejnižší pohotovostní hmotnost. Z hlediska konstrukce tak musí nevyhnutelně docházet ke zvyšování pevnosti jednotlivých částí vozidla.

Jednou z hlavních částí každého sklápěcího vozu je rám, jehož úkolem je propojit a nést jednotlivé části vozidla a zajistit tím tak jejich správnou funkci. Jelikož je rám částí, na kterou působí množství sil, je důležitá také jeho pevnostní kontrola a to jak dynamická, tak statická. Dynamická kontrola je uplatnitelná např. při jízdě nebo brždění, statická kontrola je zase použitelná zejména při procesu sklápění.

Předmětem této bakalářské práce je statická analýza a následně též optimalizace rámu třínápravového sklápěcího návěsu NS136 společnosti PANAV, a.s. Přepravní kapacita tohoto návěsu je  $29 \text{ m}^3$ , jeho celková hmotnost může být až  $36\,000 \text{ kg}$ .



## 2 Sklápěcí vozidla

Obsahem této kapitoly je rešerše používaných sklápěcích vozidel. Nejprve je uveden základní popis a možnosti kategorizace těchto vozidel. Následně jsou též sepsány jejich časté příklady, které se liší zejména konstrukčním provedením a také možnostmi jejich použití.

### 2.1 Základní charakteristika

Sklápěcí vozidla jsou většinou používána k přepravě sypkého materiálu. Základní charakteristikou těchto vozidel je korba, kterou lze sklopit pod určitým úhlem. Ta může být ve formě sklápěcí nástavby, kdy je přímo součástí rámu vozidla (sklápěcí automobily) nebo může být umístěna samostatně na vlastním rámu (sklápěcí přívěsy a návěsy). Korbu lze sklápět různými způsoby, přičemž se realizuje sklápění dozadu nebo sklápění do stran. Další možností je pak sklápění dozadu i do stran. Pohon při sklápění zajišťují přímočaré hydromotory. Tento systém vozidlu umožňuje přepravovaný materiál vysypat na určené místo. [1]

### 2.2 Používaná sklápěcí vozidla

Podkapitola uvádí základní přehled sklápěcích vozidel jednak způsoby jejich rozdělení, dále také jejich výhody a možnosti použití.

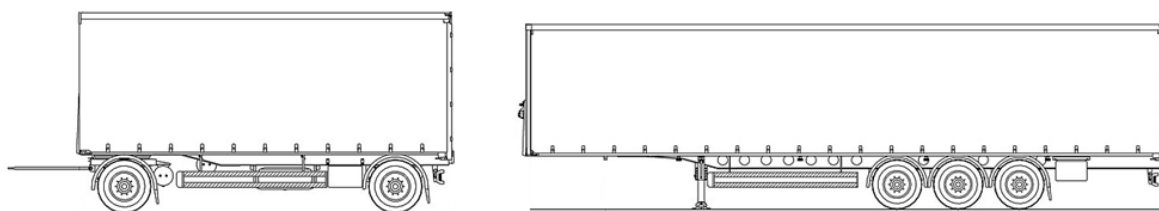
#### 2.2.1 Návěsy, přívěsy a automobilové nástavby

Z hlediska základního rozdělení lze sklápěcí vozidla rozdělit do tří základních kategorií, kterými jsou návěsy, přívěsy a automobilové nástavby. Tyto kategorie jsou definovány v následujících odstavcích.

Návěs lze definovat jako tažené vozidlo, jehož náprava popřípadě nápravy jsou při rovnoměrném rozložení nákladu umístěny za těžištěm vozidla. Vozidlo je vybaveno spojovacím zařízením, které umožňuje přenášet vodorovné a svislé síly na tažené vozidlo. Zatížení způsobené nákladem se tak částečně rozkládá také na tažené vozidlo. Návěsy mají výhodu oproti přívěsům především v kopcovitém terénu a na kluzkém povrchu. Díky tomu, že jsou nákladem zatíženy i zadní nápravy tahače, dochází ke zvýšení adheze hnacích kol. Snižuje se tak prokluz a výkon motoru tahače je lépe využit. [1, 2]

Přívěs je tažené vozidlo, které má minimálně jednu nápravu a má spojovací zařízení. V případě, že lze rozlišit přední a zadní nápravu, se toto zařízení může svisle pohybovat a dále řídí směr přední nápravy. Takový přívěs se nazývá točnicový. V opačném případě se jedná o přívěs s tzv. „centrální nápravou“. Toto provedení má nápravu případně nápravy umístěné v blízkosti těžiště vozidla. Spojovací zařízení se u tohoto provedení nemůže pohybovat ve svislém směru. Pro obě situace platí, že zatížení způsobené nákladem působí ve svislém směru na tažené vozidlo jen minimálně nebo vůbec. [2]

Automobilovou nástavbu lze definovat ve dvou provedeních. Pevná nástavba je samostatný technický celek, který je kompletován s podvozkem a je součástí vozidla. Druhou možností je výměnná nástavba, i v tomto případě se jedná o samostatný technický celek, který je se základním vozidlem v rozebíratelném spojení. Základní vozidlo je pak označováno jako nosič výměnných nástaveb. [3]



Obr. 2.1 Točnicový přívěs se dvěma nápravami a návěs se třemi nápravami [5]

### 2.2.2 Vozidla s jednostranným a třístranným sklápěním

Vozidla s jednostranným sklápěním dokáží materiál sklápat pouze dozadu. Toto omezení však má také své výhody. Bočnice korby nemusí být otevíratelné a korba může mít díky tomu půlkruhový průřez. Ten zajistí rovnoměrné rozložení přepravovaného materiálu, což vede jednak k rovnoměrnému vysypání materiálu a také ke zvýšení stability při jeho převozu. Jednostranné sklápění umožňuje též použití nůžkového stabilizátoru, tím je možné zvýšit stabilitu při sklápění. [1, 4]



Obr. 2.2 Nůžkový stabilizátor zadního sklápěče [4]

U třístranného sklápění je dno korby ploché, bočnice korby jsou otevíratelné. Toto otevírání může být horní nebo dolní, manuální nebo automatické. Tento typ konstrukce přináší větší flexibilitu při vykládání materiálu, proces vykládky je tak snazší. Další výhoda vzniká při použití sklápěcího automobilu spolu s přívěsem, v takovémto případě je pak možné materiál vyložit najednou, bez nutnosti odpojení přívěsu. [1]

### 2.2.3 Typy sklápěcích vozidel

#### SKLÁPĚCÍ NÁVĚSY

Jak plyne z definice, návěsy přenášejí část zatížení také na tažné vozidlo, nápravy jsou umístěny za těžištěm nákladu. Nejčastěji mají sklápěcí návěsy dvě nebo tři nápravy, u dvounápravového návěsu může mít jedna z náprav možnost zdvihu při jízdě naprázdno. V případě třínápravového návěsu mohou mít možnost zdvihu i dvě nápravy. Výsledkem je nižší spotřeba paliva, menší opotřebení pneumatik a lepší je také ovladatelnost návěsu. Sklápění může být u těchto vozů jednostranné nebo třístranné. [2, 4]

Sklápěcí návěsy existují ve dvou základních variantách podle typu korby, ta může být hranatá nebo vanová (také označována jako půlkruhová nebo halfpipe). Hranatá korba se vyznačuje vyšší přepravní kapacitou, která se může pohybovat v rozmezí 24 – 60 m<sup>3</sup>. Tento typ se využívá pro delší přepravní vzdálenosti a nižší počet sklápění za den. Dále je možné jej použít nejen pro přepravu sypkých materiálů, ale je zde i možnost přepravy europalet. Vanová korba se používá při častém sklápění a při přepravě na kratší vzdálenosti. Přepravovaný materiál je u ní rozložen rovnoměrněji, což zlepšuje jízdní vlastnosti, přepravní kapacita je však nižší. V tomto případě se může pohybovat v rozmezí 19 – 32 m<sup>3</sup>. Vanová korba není používána u třístranného sklápění. Obě varianty lze vyrábět z hliníku (hliníkové plechy, hliníkové profily) nebo z oceli (např. otěruvzdorná ocel HARDOX). [4 – 7]



Obr. 2.3 Návěsy s hranatou korbou (vlevo) a vanovou korbou (vpravo) [6]

### SKLÁPĚCÍ TOČNICOVÉ PŘÍVĚSY

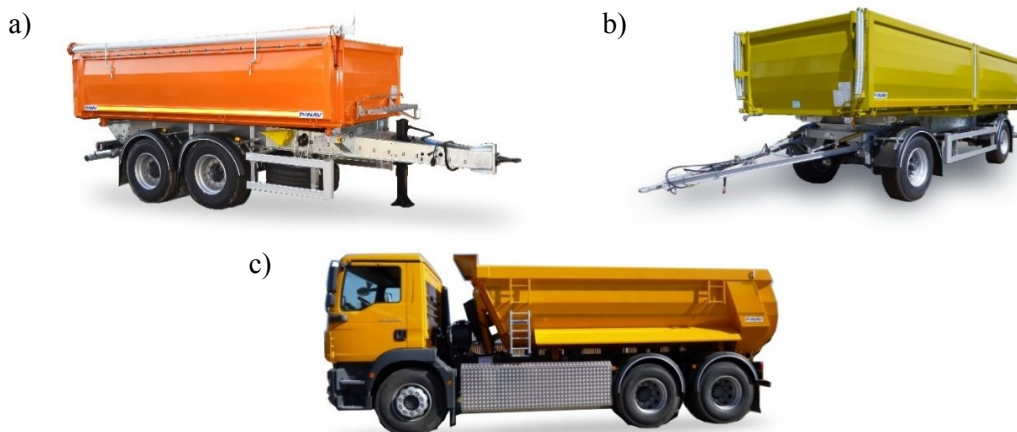
Tento typ přívěsu je řízen pomocí točnicového zařízení, které má dvě části. Horní část je upevněna na rám podvozku přívěsu, spodní část je připevněna k rámu, jehož součástí je tažná oj. Mezi horní a spodní částí točnicového zařízení se nachází ložisko. Oj pak spojuje přívěs s tahačem. Sklápěcí točnicové přívěsy mohou být dvounápravové i třínápravové, sklápění je zejména třístranné. Převážovaný objem může být díky různým výškám bočnic až 35 m<sup>3</sup>. Převážovat je možné jak sypké materiály, tak i europalety. Jako materiál korby se stejně jako v předchozím případě používá buďto hliník nebo ocel. [1, 5, 6]

### SKLÁPĚCÍ TANDEMOVÉ PŘÍVĚSY

Tandemové přívěsy lze také označovat jako přívěsy s centrální nápravou, počet náprav může být u tohoto typu přívěsu až tři. Stejně jako u návěsů existuje i v tomto případě možnost zdvihu jedné nápravy nebo dvou náprav v případě, kdy přívěs není zatížen. Sklápěcí přívěsy tohoto typu mají pevnou oj, díky tomu jsou schopny přenášet část zatížení na tažné vozidlo a zlepšit tak adhezní vlastnosti hnacích kol. Jejich další výhodou je potom lepší manévrovatelnost při couvání. V tandemových přívěsech lze převážovat jak sypké materiály, tak i kamenné a betonové úlomky, případně také europalety. [1, 4, 6]

### SKLÁPĚCÍ NÁSTAVBY

Vozidla se sklápěcími nástavbami jsou označovány jako sklápěcí automobily nebo také sklápěče. Mohou existovat ve variantě jednostranného (zadního) sklápění nebo třístranného sklápění. Podobně jako u návěsů může být korba buďto hranatá nebo vanová. Sklápěče existují v širokém spektru nosností od lehkých dvounápravových, které jsou vhodné například pro lehké stavební práce, až po pětínápravové sklápěče, sloužící k velkoobjemové přepravě. Výhodou sklápěčů je dobrá manévrovatelnost a možnost připojení přívěsu pro maximalizaci přepravovaného objemu. [1, 4]



Obr. 2.4 a) Sklápěcí tandemový přívěs, b) sklápěcí točnicový přívěs a c) vozidlo se sklápěcí nástavbou [6]

## SPECIÁLNÍ SKLÁPĚCÍ VOZIDLA

Tato část uvádí pouze několik příkladů vozidel, které lze označit jako tzv. speciální sklápěcí vozidla. Tímto termínem je možné označit jakékoliv sklápěcí vozidlo, plnící speciální účel, pro který by byla standardní vozidla tohoto typu nevhodná nebo takové, které je výsledkem individuálních přání zákazníka. [6]

**Dampr** – vozidlo určené pro přepravu materiálu v terénu, např. v povrchových dolech. Podvozek může být kolový i pásový. Korba je otevřená, bez otevíratelných bočnic. Existují v provedení s pevným nebo kloubovým rámem. [1]

**Vozidlo s tepelně izolovanou korbou** – korba je doplněna tepelnou izolací a teplotními senzory. Vrchní část je opatřena umělohmotnou plachtou, kterou je možné navíjet. [5]

**Vozidlo s korbou pro přepravu asfaltu** – speciální korba s horním hydraulicky uzavíratelným víkem, které izoluje tepelně i před vlhkostí. Těleso korby je hruškovitého tvaru, čímž je docíleno plošné izolace. [4]

Do této kategorie lze zařadit také speciální vozidla, která nejsou primárně konstruována jako sklápěcí, ale mohou se v této variantě vyskytovat. Patří zde např. vozidla pro svoz odpadu nebo též vozidla pro přepravu práškových materiálů jako vápno nebo cement.



Obr. 2.5 a) Kloubový dampr [1], b) vozidlo pro svoz odpadu [9], c) vozidlo s korbou pro přepravu asfaltu [5], d) vozidlo pro přepravu práškových materiálů [8]



## 2.3 Popis systému sklápění

Aby bylo možné převáženy materiál vysypat na určené místo, je nutné využít systému, který umožní naklopení korby požadovaným směrem a pod žadaným úhlem. Ve většině případů je takovýto sklápěcí systém hydraulický, protože při použití např. pneumatického systému dochází k nežádoucímu stlačování pracovního média. Pro sklápění jsou tak používány především přímočaré hydromotory, které jsou na vozidle instalovány různými způsoby. [10]

### 2.3.1 Používané sklápěcí systémy

Jednoduchým a také nejrozšířenějším sklápěcím systémem je sklápění s přímým zdvihem. Hydraulický válec je upevněn přímo mezi rámem vozidla a korbou, a to nejčastěji v prostřední nebo přední části. V tomto případě se korba zvedá přímo ve směru vysouvání hydraulického válce, a jelikož je na některém z okrajů otočně upevněna, tak dochází k jejímu naklopení. Ke sklápění je také možné využít různých mechanismů. Pohyb korby je stejný jako u přímého zdvihu, vznikne ale složitější sklápěcí systém, jehož výsledkem je efektivnější způsob sklápění. Dojde tedy například ke snížení síly, kterou je nutné vyvinout. [11]



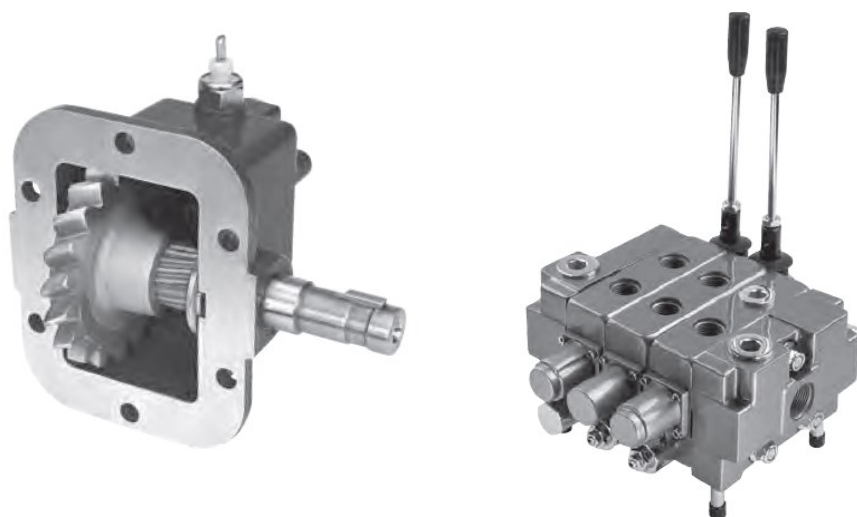
Obr. 2.6 Sklápěcí točnicový přívěs s hydraulickým válcem uprostřed (vlevo), vozidlo se sklápěcí nástavbou a hydraulickým válcem v přední části (vpravo) [6]



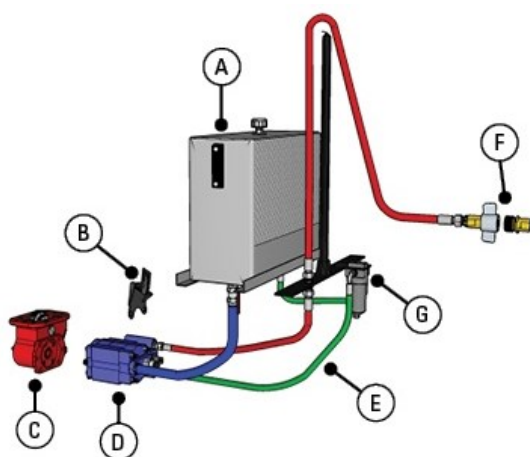
Obr. 2.7 Příklad hydraulického sklápěcího mechanismu [14]

## 2.4 Pohon sklápěcích systémů

K pohonu sklápěcího systému je využíváno spalovacího motoru vozidla, pokud se jedná o sklápěč. V případě návěsu nebo přívěsu dodává hydromotorům energii spalovací motor tahače, případně tažného vozidla. Výkon je spalovacímu motoru odebírán přes tzv. vývodový hřídel, který je součástí většího zařízení sloužícího k odběru výkonu, nazývaného PTO (power take-off). PTO se připojuje k převodovce a vývodový hřídel následně pohání čerpadlo. Z důvodu bezpečnosti by mělo být možné zapojit tento hřídel, pouze pokud je převodovka v neutrální pozici. Čerpadlo je pak součástí hydraulického systému, díky kterému je možné sklápění ovládat, a to za pomoci hydraulických rozvaděčů nebo ventilů. [10, 12]



Obr. 2.8 Jednoduché PTO (vlevo) a hydraulický rozvaděč (vpravo) [12]



Pozice	Název
A	olejová nádrž
B	uchycení
C	PTO (power take-off)
D	čerpadlo
E	hydraulické hadice a šroubení
F	hydraulická rychlospojka
G	olejový filtr

Obr. 2.9 Schéma základního hydraulického systému sklápěcích vozidel [13]

### 3 Sklápěcí návěs NS136

Tato krátká kapitola slouží jako úvod k posuzovanému rámu, uvádí jeho základní popis a rozdělení jednotlivých částí. Dále jsou zde uvedeny také specifikace sklápěcího návěsu NS136, kterého je rám součástí.

#### 3.1 Základní popis návěsu

Návěs společnosti PANA V, a.s. s označením NS136 je jednostranný sklápěcí návěs se třemi vzduchově odpruženými nápravami a vanovou korbou. Je určen zejména k přepravě sypkého materiálu, který je pak schopen vysypat na určené místo. Korba má objem 29 m<sup>3</sup>, přičemž její podlaha a boky mohou být vyrobeny ze speciálních otěruvzdorných a vysokopevnostních ocelí (uváděné jsou obchodní značky HARDOX a DOMEX). Maximální uváděná hmotnost návěsu je 36 000 kg. Spojení s tažným vozidlem je zajištěno pomocí točnice a královského čepu, po odpojení je návěs podepřen dvěma odstavnými nohami. Sklápění návěsu umožňuje hydraulický válec, který je umístěn v jeho přední části.



Obr. 3.1 Sklápěcí návěs NS136 [15]

Tab. 3.1 Základní délkové rozměry návěsu [22]

Rozměr	Hodnota [mm]
délka ložné plochy	8 570
šířka ložné plochy	2 330
celková délka	10 050
celková šířka	2 550
celková výška	3 070
výška točny	1 100 ÷ 1 250
rozvor náprav	1 410 + 1 310



---

*Zbylá část kapitoly 3 není určena ke zveřejnění a je součástí technické zprávy, ze které tato bakalářská práce vychází. Kapitola 3 je uvedena na str. 16 – 17 technické zprávy [26].*

## 4 Analytický výpočet

Analytický výpočet si klade za cíl určit velikosti sil, které působí na rám návěsu během vyklápění nákladu. Zjištěné hodnoty se následně uplatní především při specifikaci okrajových podmínek u konečno-prvkového modelu.

*Zbylá část kapitoly 4 není určena ke zveřejnění a je součástí technické zprávy, ze které tato bakalářská práce vychází. Kapitola 4 je uvedena na str. 18 – 24 technické zprávy [26].*















## 5 Pevnostní kontrola pomocí MKP

V rámci této kapitoly bude nejdříve stručně popsána metoda konečných prvků (MKP). Následovat bude popis tvorby geometrického a také výpočtového modelu, na který naváže samotný pevnostní výpočet provedený v softwaru ANSYS Workbench 2019 R1.

### 5.1 Úvod do metody konečných prvků

Metoda konečných prvků, často označovaná jako MKP, je v dnešní době velmi rozšířená numerická výpočetní metoda. Lze s ní řešit širokou škálu inženýrských problémů, která se neomezuje pouze na mechaniku pružných těles, ale zahrnuje i např. oblasti proudění, přenosu tepla nebo elektromagnetismu. Základní podstatou MKP je rozložení spojitého řešeného problému (kontinua) na specifický počet podoblastí, které lze označit jako konečné prvky nebo též elementy. Tímto způsobem dojde k tzv. diskretizaci úlohy, která je však pouze prvním krokem řešení touto metodou. V obecném smyslu pak řešení pokračuje následujícím způsobem. [16 – 18]

- Po diskretizaci následuje formulace chování jednoho elementu.
- Sestaví se rovnice pro celou řešenou soustavu.
- Aplikují se okrajové podmínky v podobě vazeb nebo zatížení.
- Proveďte se řešení systému rovnic soustavy s aplikovanými okrajovými podmínkami, výsledkem je primární proměnná, kterou je velmi často posuv.
- Jako poslední se dopočtou sekundární proměnné, mezi ně patří např. deformace a napětí.

Následující odstavce se pokusí stručně popsat princip řešení metodou konečných prvků tak, jak je uveden ve výše zmíněných bodech.

Elementy vzniklé diskretizací vyplňují řešenou oblast a tvoří konečno-prvkovou síť. Dále jsou tyto elementy vzájemně spojeny pomocí určitého počtu bodů, které jsou nazývány uzly. V těchto bodech pak dochází k výpočtu neznámé veličiny. Žádoucí je přitom také znalost hledané veličiny mimo tyto uzly. Výpočet v takovýchto místech se provádí interpolací hodnot ve výpočetních uzlech a to s pomocí interpolačních funkcí, kterým se často říká tvarové funkce. Kromě spojovacích uzlů jsou používány i tzv. mezi-uzly, ty už neslouží ke vzájemnému propojení elementů, ale zpřesňují výsledky získané interpolací. Jelikož nejčastěji volené interpolační funkce jsou polynomy, dojde takto ke zvýšení jeho stupně. [16]

Samotné chování elementu je popsáno maticovou rovnicí, její obecný zápis uvádí vztah (5.1). V něm je  $[k]$  matice tuhosti daného elementu,  $\{u\}$  je vektor posuvů jednotlivých uzlů elementu a  $\{f\}$  je vektor sil působících v uzlech elementu. [16, 18]

$$[k] \cdot \{u\} = \{f\} \quad (5.1)$$

K formulaci maticové rovnice, popisující celou řešenou soustavu, je možné využít např. energetický přístup. Jedná se o princip minima potenciální energie, označovaný také jako Lagrangeův variační princip. Dle tohoto principu se realizují právě ty deformace, při kterých je celková potenciální energie  $\Pi$  soustavy minimální. Tato energie je dána součtem celkové deformační energie  $\Pi_i$  a práce vnějších zátěžných sil  $\Pi_e$ . Minima se dosáhne položením variace rovno 0, tedy  $\delta\Pi = 0$ . [16 – 18]

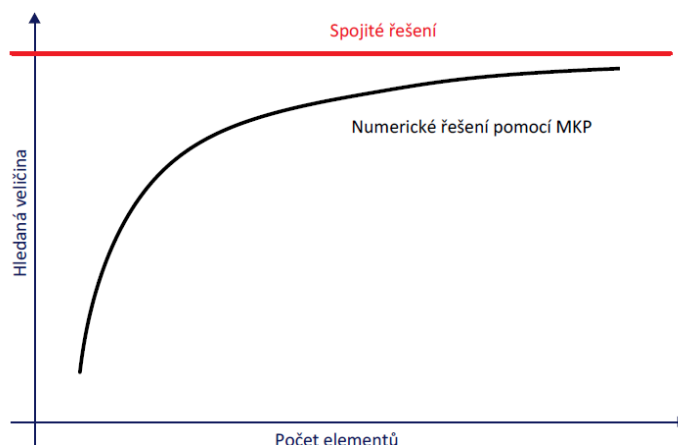
$$\Pi = \Pi_i + \Pi_e \quad (5.2)$$

Výsledkem je maticová rovnice popisující celou soustavu (5.3). V ní se tentokrát objevuje globální matice tuhosti  $[K]$ , vektor globálních posuvů uzlů  $[U]$  a vektor zátěžných sil  $[F]$ .

$$[K] \cdot \{U\} = \{F\} \quad (5.3)$$

Aplikace okrajových podmínek pak spočívá v dosazení známých hodnot za specifické složky vektorů  $\{U\}$  a  $\{F\}$ . Rovnice se tak stane řešitelnou a výsledkem jsou primární proměnné, v tomto případě posuvy uzlů a reakční síly. Následně už zbývá pouze dopočítat sekundární proměnné, kterými jsou v mechanice pružných těles poměrné deformace  $\varepsilon$  a napětí  $\sigma$ . Poměrné deformace lze získat z posuvů uzlů jednotlivých elementů. Velikost napětí potom vychází z Hookova zákona. [16]

Jako finální krok by měla ještě následovat kontrola výsledků analýzy. To se týká zejména zhodnocení deformací, tedy jestli odpovídají reálným možnostem nebo předpokladům. Dále také řádu, ve kterém vyjde hodnota výsledku. Je třeba posoudit, zdali některá z hodnot není přehnaně vysoká nebo naopak podezřele malá. Poslední věcí, která u této metody platí, je konvergence řešení, kdy se s rostoucím počtem elementů výsledky blíží těm reálným. [17]



Obr. 5.1 Konvergence v MKP [16]

---

*Zbylá část kapitoly 5 není určena ke zveřejnění a je součástí technické zprávy, ze které tato bakalářská práce vychází. Kapitola 5 je uvedena na str. 25 – 36 technické zprávy [26].*





















## 6 Vyhodnocení pevnostní kontroly stávajícího rámu

Tato kapitola uvádí výsledky pevnostní kontroly, provedené u stávajícího rámu návěsu NS136. Kontrola je provedena u zvolených zátěžných stavů, vždy pro několik vytipovaných kritických míst. Cílem kapitoly je ověřit, že konstrukce navržená ve společnosti PANAV, a.s. vydrží předepsané zatížení.

Pro každé kritické místo je provedeno vyhodnocení, přičemž posouzení daného místa je provedeno na základě hodnoty statické bezpečnosti, jejíž hodnota vznikne porovnáním vypočteného napětí s mezí kluzu dle vztahu (6.1). Redukované napětí je počítáno dle pevnostní hypotézy HMM (Huber, von Mises, Hencky).

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_{red}} \quad (6.1)$$

Kde ve vztahu (6.1) je:

$k_s$ ...	statická bezpečnost	$[-]$ ,
$R_e$ ...	mez kluzu zvoleného materiálu	$[\text{MPa}]$ ,
$\sigma_{red}$ ...	redukované napětí	$[\text{MPa}]$ .

*Zbylá část kapitoly 6 není určena ke zveřejnění a je součástí technické zprávy, ze které tato bakalářská práce vychází. Kapitola 6 je uvedena na str. 37 – 56 technické zprávy [26].*













































## 7 Optimalizace rámu návěsu

Dalo by se říct, že optimalizace je hlavním bodem této bakalářské práce. Požadavkem pro tuto kapitolu je zejména snížení hmotnosti konstrukce z důvodu navýšení hmotnostní kapacity návěsu a zvýšení efektivity přepravy. Navíc je pravděpodobné, že s úbytkem materiálu dojde ke snížení pevnosti. Proto je také vhodné zavést určité konstrukční úpravy, jejichž výsledkem bude snížení některých napětových extrémů.

*Zbylá část kapitoly 7 není určena ke zveřejnění a je součástí technické zprávy, ze které tato bakalářská práce vychází. Kapitola 7 je uvedena na str. 57 – 59 technické zprávy [26].*





## 8 Vyhodnocení pevnostní kontroly optimalizovaného rámu

Pevnostní kontrola optimalizovaného rámu je prováděna stejným způsobem jako v kapitole 6. Opět je posuzováno redukované napětí dle hypotézy HMM, vždy to několik vytipovaných míst. Výsledkem je tak stále hodnota statické bezpečnosti  $k_s$ , která je počítána vůči mezi kluzu  $R_e$ .

*Zbylá část kapitoly 8 není určena ke zveřejnění a je součástí technické zprávy, ze které tato bakalářská práce vychází. Kapitola 8 je uvedena na str. 60 – 75 technické zprávy [26].*



































## 9 Diskuze

Tato kapitola se pokusí probrat postupy a zjednodušení, které byly v této práci zavedeny a odůvodnit tím jejich použití.

*Zbylá část kapitoly 9 není určena ke zveřejnění a je součástí technické zprávy, ze které tato bakalářská práce vychází. Kapitola 9 je uvedena na str. 76 – 78 technické zprávy [26].*





## 10 Závěr

Bakalářská práce měla za úkol nejprve pevnostně zkontrolovat rám sklápěcího návěsu a následně provést jeho optimalizaci. Cílem této optimalizace bylo primárně snížení hmotnosti rámu.

První část práce se zabývá popisem a rozdělením sklápěcích vozidel, dále uvedením nejčastěji používaných zástupců této skupiny nákladních automobilů. Druhá a velmi podstatná část je věnována tvorbě výpočtového modelu, zejména specifikaci potřebných okrajových podmínek. Stručně je také v této části teoreticky rozebrán výpočet metodou konečných prvků. Finální část práce se zabývá vyhodnocením pevnostní kontroly stávajícího rámu, jeho optimalizací a následným ověřením jeho pevnosti, za použití metody konečných prvků.

*Zbylá část kapitoly 10 není určena ke zveřejnění a je součástí technické zprávy, ze které tato bakalářská práce vychází. Kapitola 10 je uvedena na str. 79 technické zprávy [26].*

**Poděkování:**

Tímto bych chtěl poděkovat především svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Kořínkovi za cenné rady a odborné vedení v průběhu jejího vypracování. Dále děkuji firmě PANAV, a.s. za poskytnuté informace a podklady, které byly přínosem pro vyhotovení práce.



## 11 Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] CELJAK, Ivo. Dopravní zařízení I. České Budějovice, 2017. Učební text. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- [2] Vyhláška č. 102/1995 Sb., Vyhláška Ministerstva dopravy o schvalování technické způsobilosti a technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích.
- [3] Vyhláška č. 301/2001 Sb., Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích.
- [4] MEILLER Kipper [online]. Německo: MEILLER Kipper [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.meiller.com>.
- [5] Schwarzmüller [online]. Rakousko: Schwarzmüller, ©2019 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.schwarzmueller.com>.
- [6] Panav [online]. Senice na Hané: Panav, 2020 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.panav.cz>.
- [7] HARDOX. GAMA OCEL [online]. HODONÍN: GAMA OCEL, ©2020 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.gamaocel.cz/4861/hardox/>.
- [8] Silo Tipping Bulker. In: GRW Tankers and Trailers [online]. ©2019 [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://grw.co.za/product/silo-tipping-bulker/>.
- [9] Rockhampton rubbish truck at landfill. In: ABC News [online]. ©2020, 6 May 2018 [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.abc.net.au/news/2018-05-06/rockhampton-rubbish-truck/9730984>.
- [10] GERARD, Jack. How Does a Dump Truck Work? *It Still Runs* [online]. ©2020 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://itstillruns.com/dump-truck-work-5032394.html>.
- [11] What is a Semi Tipper Trailer?: Learn Tipping Trailer Designs, Capacity and Specs. ANSTER [online]. ©2016 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://www.anstertrailer.com/tipper-trailer-designs-specifications/>.
- [12] UNDERSTANDING TRUCK MOUNTED HYDRAULIC SYSTEMS [online]. Muncie Power Products [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://www.munciepower.com/cms/files/Products/Literature/Documents/Training/TR-G93-01.pdf>.
- [13] Hydraulics & PTO: STANDARD DUMP TRUCK OR END DUMP. In: *FleetPride* [online]. FleetPride, ©2020 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://fleetpride.com/resources/standard-dump-truck-end-dump>.

- [14] Roller-Combo. *CRYSTEEL* [online]. Crysteel Manufacturing, ©2011-2020 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://www.crysteel.com/products/hoists/2-hoists/P5-roller-combo-r>.
- [15] PANAV návěs sklápěcí NS 136. In: *PK Trailers* [online]. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <http://www.pktrailers.cz/technika/panav/>.
- [16] FUSEK, Martin a Jaroslav ROJÍČEK. METODA KONEČNÝCH PRVKŮ I [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2020-04-16]. Učební text. VŠB-TUO.
- [17] CHEN, Xiaolin a Yijun LIU. Finite Element Modeling and Simulation with ANSYS Workbench [online]. Miami (Florida): CRC Press, 2015 [cit. 2020-03-29]. ISBN 978-1-4398-7385-4. Dostupné z: [http://dl.booktolearn.com/ebooks2/engineering/mechanical/9781439873847\\_finite\\_element\\_modeling\\_and\\_simulation\\_with\\_ansys\\_workbench\\_baf2.pdf](http://dl.booktolearn.com/ebooks2/engineering/mechanical/9781439873847_finite_element_modeling_and_simulation_with_ansys_workbench_baf2.pdf).
- [18] KOLÁŘ, Vladimír, Viktor KANICKÝ a Ivan NĚMEC. FEM Principy a praxe metody konečných prvků. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 1997, 401 s. ISBN 80-722-6021-9.
- [19] VLK, František. Podvozky motorových vozidel. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6464-X.
- [20] Installation instruction: BPW axles with air suspension series Airlight II / SL [online]. Wiehl, Germany [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: [https://www.bpw.de/uploads/tx\\_szdownloadcenter/Air\\_suspension\\_SL\\_ALII\\_Installation-instruction\\_BPW\\_en.pdf](https://www.bpw.de/uploads/tx_szdownloadcenter/Air_suspension_SL_ALII_Installation-instruction_BPW_en.pdf).
- [21] HUF, J. Rám valníkového přívěsu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 94 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Hejtmánek, Ph.D.
- [22] Dokumenty PANAV, a.s.
- [23] Technický rádce: pneumatiky pro nákladní automobily, autobusy a přípojná vozidla [online]. Barum Continental, 2001 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <http://www.pneuservisjr.cz/katalogy/BARUM%20-%20TECHNICKÝ%20RÁDCE%20NÁKLADNÍ%20PNEU.pdf>.
- [24] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 94/20/ES [online]. 1994, 30. května 1994, 60 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:31994L0020&from=HR>.
- [25] MIKULČÁK, Jiří. Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy. Praha: Prometheus, 1988. Pomocné knihy pro žáky (Prometheus). ISBN 80-858-4984-4.

- [26] ČERNÍK, T. *Pevnostní výpočet rámu sklápěcího návěsu NS136*. Ostrava, 2020. Technická zpráva. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra aplikované mechaniky. Vedoucí práce: Michal Kořínek.